

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-034848

(43)Date of publication of application : 07.02.2003

(51)Int.Cl. C22C 38/00
B21C 9/00
C22C 38/58

(21)Application number : 2001-223280 (71)Applicant : SHINKO WIRE CO LTD

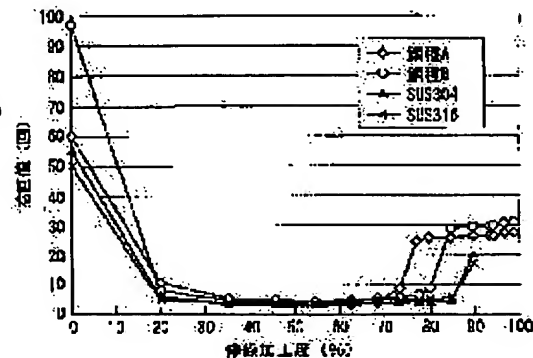
(22)Date of filing : 24.07.2001 (72)Inventor : HOU SOSHIYUN

(54) HIGH-STRENGTH HIGH-TOUGHNESS STAINLESS STEEL WIRE OF SMALL DIAMETER FOR SPRING SUPERIOR IN CORROSION RESISTANCE AND HEAT RESISTANCE, AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a stainless steel wire having a strength higher than B class of the stainless steel wire for a spring and as high as piano wires, while showing superior corrosion resistance and heat resistance, and to provide a method for manufacturing the stainless steel wire.

SOLUTION: This stainless steel wire includes 0.01-0.04% C, 3-4.5% Si, more than 1.0 to 2.5% Mn, 0.5-2.5% Cu, 5.5-10.5% Ni, 15-22% Cr, 0.5-2.5% Mo, and 0.1-0.45% Nb, and has a two-phase mixed structure of an austenite phase and a ferrite phase, tensile strength of 2,000 MPa or higher, and the wire diameter of 1.0 mm or less.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-34848

(P2003-34848A)

(43) 公開日 平成15年2月7日(2003.2.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 2	C 2 2 C 38/00	3 0 2 H 4 E 0 9 6
B 2 1 C 9/00		B 2 1 C 9/00	L
C 2 2 C 38/58		C 2 2 C 38/58	

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-223280(P2001-223280)

(22) 出願日 平成13年7月24日(2001.7.24)

(71) 出願人 000192626

神鋼鋼線工業株式会社

兵庫県尼崎市中浜町10番地1

(72) 発明者 方 蘇春

兵庫県尼崎市中浜町10番地1 神鋼鋼線工業株式会社内

(74) 代理人 100067828

弁理士 小谷 悦司 (外1名)

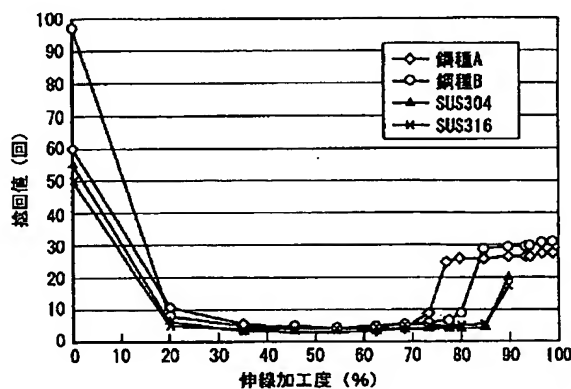
Fターム(参考) 4E096 EA03 EA13 JA10 JA11

(54) 【発明の名称】 耐食性及び耐熱性に優れた細径ばね用高強度高靱性ステンレス鋼線並びにその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 優れた耐食性及び耐熱性を発揮しつつ、ステンレスばね用鋼線B種以上〜ピアノ線並みの強度を備えたステンレス鋼線、およびこのようなステンレス鋼線を製造する為の有用な方法等を提供する。

【解決手段】 C:0.01~0.04%、Si:3~4.5%、Mn:1.0超~2.5%、Cu:0.5~2.5%、Ni:5.5~10.5%、Cr:15~22%、Mo:0.5~2.5%およびNb:0.1~0.45%を夫々含有すると共に、オーステナイト相とフェライト相の2相混合組織を呈し、且つ引張強さが2000MPa以上で線径が1.0mm以下である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 C:0.01~0.04% (質量%の意味、以下同じ)、Si:3~4.5%、Mn:1.0超~2.5%、Cu:0.5~2.5%、Ni:5.5~10.5%、Cr:15~22%、Mo:0.5~2.5%およびNb:0.1~0.45%を夫々含有すると共に、オーステナイト相とフェライト相の2相混合組織を呈し、且つ引張強さが2000MPa以上で線径が1.0mm以下であることを特徴とする耐食性および耐熱性に優れた細径ばね用高強度高靱性ステンレス鋼線。

【請求項2】 更にN:0.05~0.25%を含有すると共に、引張り強さが2100MPa以上である請求項1に記載の細径ばね用高強度高靱性ステンレス鋼線。

【請求項3】 請求項1または2に記載の細径ばね用高強度高靱性ステンレス鋼線を製造するに当たり、鋼線の伸線加工過程において、中間熱処理と共にまたはその代りにニッケルめっきまたは潤滑性皮膜コーティングを施して伸線加工することの特徴とする耐食性および耐熱性に優れた高強度高靱性ばね用ステンレス鋼線の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、細径コイルばねの素材として用いられる高強度高靱性ステンレス鋼線およびその製造方法に関し、殊に耐食性と耐熱性を優れたものとした2相ステンレス鋼線、およびその様なステンレス鋼線を製造する為の有用な方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】工業用機器や自動車を始めOA機器、家電製品等の様々な分野でコイルばねが広く使用されている。これらの製品は、よりコンパクト化・軽量化、より高い耐久性が常時求められており、それに応じてコイルばねについても上記の特性が要求されている。こうしたことから、高強度・高靱性を有する細径ばね(コイルばね)の役割がますます重要になっている。しかも、製品の高性能化に伴って、使用環境もますます厳しくなっており、こうした要求に対応するためには、細径ばねにおいても高強度および高靱性であることに加えて、高耐食性や高耐熱性も要求される様になっている。

【0003】上記の様な各種用途に使用されているステンレス鋼線は、殆どがオーステナイト系であり、その代表的な鋼種としてはSUS304やSUS316が知られている。このうちSUS304では、加工硬化率(単位伸線加工度の強度上昇率)が比較的大きいが、伸線加工過程において鋼線表面に脆いマルテンサイト相ができやすく、一般に80%の伸線加工度(減面率)を越えると、表面加工マルテンサイトの量が70%にもなり、絞り(面縮率)が急激に低下するので、高い伸線加工度を望むことができず、強度上昇するにも制限がある。また、耐食性がそれほど高くないこともSUS304にお

ける欠点である。

【0004】一方、SUS316の場合には、耐食性に関してはSUS304鋼に比べて優れているものの、強度の点でSUS304よりも低いという問題がある。こうしたことから、上記SUS316に所定量のNを添加して強度を高めたステンレス鋼の提案されているが(例えば、SUS316-N)、いずれの鋼種についてもピアノ線の強度レベルに達していないのが実状である。また、Cの含有量を極端に多くして強度的に硬鋼線の強度レベルにした鋼種も知られているが(例えば、SUS302)、こうした鋼種では耐食性や靱性を犠牲にする結果となっている。しかも、これまで開発された鋼種では、いずれも或る程度の耐熱性を有するものとなっているが、400℃を超える様な雰囲気における高温強度に関しては急激に低下するという欠点がある。

【0005】こうした状況の下で、オーステナイト/フェライトの2相を持つステンレス鋼による鋼線についても開発されており(例えば、特公平3-9180号)、こうした2相ステンレス鋼線においては、高靱性および高耐食性が発揮できるものとなっている。しかしながら、こうした2相ステンレス鋼線においては、ステンレスばね線B種(WPB)以上~ピアノ線並みの高強度を発揮することができないのが実状である。

【0006】上述の如く、これまで開発されているばね用ステンレス鋼線では、高耐食性、高靱性、高強度および高耐熱性のいずれをも同時に満足させたものが存在しなかった。こうしたことから、上記特性を兼ね備えたステンレス鋼線の実現が望まれているのが実状である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明はこうした状況の下になされたものであって、その目的は、優れた耐食性と耐熱性を発揮しつつ、ステンレスばね用鋼線B種以上~ピアノ線並みの強度および靱性を備えたステンレス鋼線、およびこの様なステンレス鋼線を製造する為の有用な方法等を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成し得た本発明のステンレス鋼線とは、C:0.01~0.04% (質量%の意味、以下同じ)、Si:3~4.5%、Mn:1.0超~2.5%、Cu:0.5~2.5%、Ni:5.5~10.5%、Cr:15~22%、Mo:0.5~2.5%およびNb:0.1~0.45%を夫々含有すると共に、オーステナイト相とフェライト相の2相混合組織を呈し、且つ引張強さが2000MPa以上で線径が1.0mm以下である点に要旨を有するものである。

【0009】上記本発明のステンレス鋼線においては、更にN:0.05~0.25%を含有すると共に、引張り強さが2100MPa以上であるものが好ましい。

【0010】また上記の様なステンレス鋼線を製造する

10

20

30

40

50

に当たっては、鋼線の伸線加工過程において、中間熱処理と共にまたはその代りにニッケルめっきまたは潤滑性皮膜コーティングを施して伸線加工を行なう様にすれば良い。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明者らは、上記目的を達成することのできるばね用ステンレス鋼線の実現を目指して様々な角度から検討した。その結果、オーステナイト／フェライト相の2相混合組織を呈するステンレス鋼を素材鋼とし、その化学成分組成（特に、Si、Cu、N）を厳密に規定すると共に、この鋼材を用いて線径を1.0mm以下にして引張強さを2000MPa以上にした鋼線においては上記目的が見事に達成されることを見出し、本発明を完成した。

【0012】従来の2相ステンレス鋼は、強度的にオーステナイト系ステンレス鋼よりも低いのが一般的であり、その原因の一つとしては2相中のフェライト相がオーステナイト相と比べて加工硬化率が低いことにあると考えられる。これに対して、フェライト強化元素であるSiを高めに含有させた鋼種も知られているが（前記特公平3-9180号）、3%以下の含有ではその効果が発揮されず、また3%を超えて含有させると冷間加工性が却って低下するという問題がある。

【0013】そこで本発明者らは、高強度を維持しつつ高靱性、高耐食性および高耐熱性を発揮するステンレス鋼線を実現するべく様々な角度から検討した。その結果、3%以上のSiを含有させると共に、所定量のCuとNbとを同時に含有させ、必要によって更にNを含有させる様にすれば、上記の要求特性のいずれをも満足させ得る2相ステンレス鋼線が得られることが判明したのである。

【0014】本発明の2相ステンレス鋼線は、上述の如く、基本的にSi含有量を比較的高めに設定すると共に、所定量のCuとNbを含有させ、必要によってNを含有させる点に化学成分としての特徴を有するものであるが、これらの成分を含めて本発明のステンレス鋼線における化学成分組成の範囲限定理由は下記の通りである。

【0015】C：0.01～0.04%

Cは、鋼線の強度向上に有効な成分であり、こうした効果を発揮させるためには、0.01%以上含有させる必要がある。また、C含有量を0.01%未満に低減することは製造コストの上昇を招くことになる。しかしながら、C含有量が過剰になると、炭化物が粒界で析出し易くなり、耐食性が低下するので0.04%以下にする必要がある。

【0016】Si：3～4.5%

一般に、例えばSUS329J1の様な2相ステンレス鋼は、2相中のフェライト相は加工硬化が小さいことが知られている。このフェライト相は伸線加工性の向上に

寄与することになるが、同じ伸線加工度においてSUS304に比べて2相ステンレス鋼の強度が低くなる原因にもなる。これに対して、Siはフェライト相に固溶され、加工硬化の少ないフェライト相を強化する作用を発揮すると共に、耐熱性向上にも寄与する。

【0017】本発明者らが、上記の作用を発揮するSiの含有量について繰り返し実験した結果、Si含有量を3～4.5%としたものが最適な特性を発揮し得ることを見出した。即ち、Si含有量が3%未満になると、固溶強化の作用が発揮されにくく、4.5%を超えて含有されると、線材圧延や冷間伸線加工が極端に困難になるのである。また、コイルばねの場合には、ばね成形後においてばねのねばり性を引き出すために低温時効処理を必要とする。本発明のばね用ステンレス鋼線ではこうした低温時効処理特性においても優れている必要があるが、上記のSiを含有させたステンレス鋼線では、低温時効処理による強度上昇幅が一般のオーステナイト系ステンレス鋼に比べて大きなものとなる。Siは一般的な作用である脱酸作用を発揮するのは勿論のこと、素材の耐熱性向上にも寄与する。尚、Si含有量は3.5%以上であることが好ましく、好ましい上限は4.2%である。

【0018】Mn：1.0超～2.5%

Mnは、脱酸および脱硫の作用があると共に、オーステナイト安定化元素であるので、オーステナイト／フェライト2相のバランスを維持する上で後述するNiと同様の効果を発揮することになる。従来の2相ステンレス鋼においては、Mnは1%以下含有するものであるが、本発明のステンレス鋼線においては、Siとのバランスを図るという理由から、上記の効果を発揮させる為には、Mnは1.0%を超えて含有させる必要がある。しかしながら、あまり過剰になると加工性を損なうので、2.5%以下とすべきである。尚、Mn含有量の好ましい下限は1.5%であり、好ましい上限は2.0%である。

【0019】Cu：0.5～2.5%

Cuは鋼線の冷間加工性を向上させる一方、耐食性をも向上させる作用を発揮する。即ち、本発明のステンレス鋼線においては、Siを3%以上と比較的多目に含有させるものであるが、それに伴って加工性の低下を予想されることになる。そこで本発明では、こうした加工性の低下を、Cuを含有させることによって補うものである。こうした効果を発揮させるためには、Cu含有量は0.5%以上とする必要があるが、Cu含有量が過剰になって2.5%を超えると熱間加工性が劣化することになる。尚、Cu含有量の好ましい下限は1%であり、好ましい上限は2%である。

【0020】Ni：5.5～10.5%

Niはオーステナイト形成元素であり、本発明の2相ステンレス鋼線に所定量（例えば20体積%以上）のオーステナイトを形成するには、5.5%のNiを含有させ

10

20

30

40

50

る必要がある。しかしながら、Niは高価な元素であるので経済性を考慮してその上限は10.5%程度にする必要がある。

【0021】Cr:15~22%

Crはステンレス鋼における基本成分であり、フェライト成形元素でもある。本発明の2相ステンレス鋼に所望の耐食性を付与するには、Crは少なくとも15%以上含有させる必要がある。しかしながら、Crを過剰に含有させるとコストが上昇する割にはその効果が飽和するので22%以下とする必要がある。

【0022】Mo:0.5~2.5%

Moは、ステンレス鋼の耐食性の向上させる上で重要な元素である。こうした効果を発揮させるためには、Moは0.5%以上含有させる必要がある。しかしながら、過剰に含有させるとコスト上昇を招くことから2.5%以下とする必要がある。

【0023】Nb:0.1~0.45%

Nbは、結晶粒の微細化に寄与する元素であり、結晶粒の微細化によって鋼線の靱性を向上させることができる。また、結晶粒の微細化を図ることによって、間接的に材料の冷間加工性の向上にも寄与し、これによって前記Cuと同様にSiを多量含有させることによる冷間加工性劣化をも補うことができる。また、Nbを含有させることによって、耐食性および耐熱性をより優れたものとすることができることを、本発明者らは実験によって確認できた。こうした効果を発揮させる為には、Nb含有量は0.1%以上とする必要があるが、0.45%を超えると効果が飽和することになる。尚、Nb含有量の好ましい下限は0.2%であり、好ましい上限は0.4%である。

【0024】本発明の2相ステンレス鋼線における基本的な化学成分組成は上記の通りであり、残部は実質的にFeからなるものであるが、必要によってNを含有させることも有効である。Nを含有させるときの範囲限定理由は下記の通りである。尚、「実質的にFe」とは、本発明のステンレス鋼線にはFe以外にその特性を阻害しない程度の微量成分（許容成分）を含み得るものであり、こうした許容成分としては、例えばPやS等の不可避不純物等が挙げられ、これらの不可避不純物については、いずれも0.04%程度の含有であれば許容できる。

【0025】N:0.05~0.25%

NはCと同様に格子間固溶原子であり、固溶強化に有効に寄与する成分である。またNの含有は、ステンレス鋼線の耐食性向上に有効に作用し、Moの代りに耐食性向上の役割を果たすことも考えられる。更に、Nは耐熱性を向上させるのにも有効である。こうした効果が発揮されるのは、Nの含有によって結晶粒内に均一に数十ナノメートルの微細な窒化物や炭窒化物が生成され、粒界上での欠Cr層の形成による耐食性の低下を防止すると共

に、加熱時の粒成長の抑制によって耐熱性向上にも貢献すると考えることができる。こうした効果を発揮させるためには、Nの含有量は0.05%以上とすることが好ましいが、過剰に含有させると加工性を低下させるので0.25%以下とすることが好ましい。また、上記の程度にNを含有させることによって、本発明のステンレス鋼線の強度を2100MPa以上に向上させることができる。

【0026】本発明者らは、かねてよりオーステナイト／フェライトの2相ステンレス鋼線について研究を進めており、このような組織を有するステンレス鋼線では優れた耐食性と高疲労強度を発揮することを見出している（前記特公平3-9180号）。そして、更に検討した結果、上記の様に化学成分組成を調整した2相組織のステンレス鋼線においては、高強度と共に高伸線加工性をも発揮し得るものとなることが判明したのである。こうした効果が発揮される理由については、その全てを解明し得た訳ではないが、次の様に考えることができた。

【0027】前述の如く、2相ステンレス鋼では、一般に冷間加工時の加工硬化率（単位冷間加工度当たりの強度上昇率）がオーステナイト系ステンレス鋼よりも低いものとなる。これは2相中のフェライト相は、オーステナイト相よりも加工硬化率が小さいことによるものである。これに対して、Siは主にフェライト相中に固溶するので、Siを多量に含有させると、フェライト相がSiによって強化され、加工硬化率が上昇し、その結果として3%以上のSiを含有している本発明のステンレス鋼線においては従来の2相ステンレス鋼線よりも高い強度が得られることになる。

【0028】また、オーステナイト／フェライトの2相組織では、冷間加工によって層状組織となる。そして、2相の間に強度差が存在するので、オーステナイト相において加工マルテンサイトが生じにくく、その結果として95%以上の強伸線加工が可能になると考えられる。尚、本発明の2相ステンレス鋼線中におけるオーステナイト／フェライトの比率は、オーステナイト:20~80体積%、残部:フェライト程度が適当であり、この範囲を外れると、2相ステンレス鋼線としての上記特性を発揮することができなくなる。

【0029】本発明の2相ステンレス鋼線は、その線径が1.0mm以下である必要があるが、この理由は次の通りである。伸線加工によって得られた鋼線は、寸法依存性を有するものである。即ち、同じ成分を有する線材を用いて、同じ加工度の伸線を行っても線径（最終線径）の細い鋼線の方が強度的により高くなる。例えば、固溶化処理後の線径:4mmのステンレス鋼線を2mmまで伸線加工する場合と、同2mmから1mmまで伸線加工する場合では、伸線加工度としては75%で同じであるが、最終線径が1mmの方が同2mmのものよりも強度が高くなる。これは、伸線加工と固溶化処理によ

て線径が細ければ細いほど金属組織が微細化するからである。こうしたことから、本発明の2000MPa以上の高強度で高靱性のステンレス鋼線を得るには、その線径を1mm以下とする必要がある。

【0030】ところで、コイルばねの場合には、常に捻り変形を受けるので、ばね線には捻り特性が良好であることも重要な要件である。この捻り特性は、伸線加工によってできたファイバー組織の形態に強く影響されることになる。即ち、伸線加工度が低い場合には、伸線加工によってできたファイバー組織が十分に発揮していない状態であるので、捻回値が一旦急激に低下することになる。そして、2相ステンレス鋼線の場合には、伸線前の捻回値は50回以上であるが、20～60%程度の伸線加工を行なうことによって、捻回値が10回以下に一旦低下することになる。十分な伸線加工を行なわない段階では、捻回値が低いままであり、いわゆる捻回復元現象が生じない。これに対して、十分な伸線加工を行うことによって（鋼種によっては90%以上の伸線加工が必要）、ファイバー組織の発達に伴う捻回値の上昇が認められることになる。

【0031】本発明の2相ステンレス鋼線を製造するに当たっては、鋼線の伸線加工過程において中間熱処理と共にまたはその代りにニッケルめっきまたは潤滑性皮膜コーティングを施して伸線加工を行なう様にすれば良いが、その理由は次の通りである。

【0032】本発明の2相ステンレス鋼線は、Siを3%以上含有するものであるが、Si含有量が3%以上になると通常のオーステナイト系ステンレス鋼線よりも伸線加工が困難になるのも事実である。実際のところ、細径ばねの製造工程において、伸線加工度は80～90%程度が限界であり、引続き伸線加工をするには、繰り返し中間固溶化熱処理が必要になる。この様な固溶化熱処理では、再結晶が進行して前の伸線加工で導入された加工硬化組織が消失してしまい、結局、ほぼ伸線前の強度レベルに戻り、高強度が得られなくなることになってしまう。

【0033】こうした不都合を回避するという観点か *

*ら、本発明方法では鋼線の伸線加工過程において中間熱処理と共にまたはその代りにニッケルめっきまたは潤滑性皮膜コーティングを施して伸線を行なう様にしたのである。このうち、ニッケルめっきは前工程の伸線で得られた強度を損することなく、潤滑剤としても作用するので、トータルの伸線加工度を比較的容易に上げることができるのである。このときのニッケルめっきの回数は、用途や目的に応じて異なるが、こうしたニッケルめっきを行なうことによってトータル伸線加工度が99%以上にすることも可能である。また前記潤滑性皮膜コーティングもニッケルめっきと同様の作用を発揮するものであるが、こうした潤滑性皮膜の種類としては、シュウ酸塩皮膜やリン酸塩皮膜等が挙げられる。

【0034】こうした工程を採用することによって、ばね用ステンレス鋼線B種～ピアノ線並みの強度を示しながら、捻回値が20以上の高靱性で、しかも高耐食性のばね用ステンレス鋼線が実現できたのである。尚、ばね用ステンレス鋼線の製造においては、ばね成形時の潤滑性を付与する為に、最終仕上げ伸線工程前にニッケルめっきを行なう場合が多いので、ばね製造工程においてニッケルめっきは特殊な工程ではなく、既設の設備を利用することが可能である。

【0035】以下、本発明を実施例によって更に詳細に説明するが、下記実施例は本発明を限定する性質のものではなく、前・後記の趣旨に徴して設計変更することはいずれも本発明の技術的範囲に含まれるものである。

【0036】

【実施例】下記表1に示す化学成分組成の鋼（A～I）を用いて直径：5.50mmの線材を作製した。これらの線材を、2相系については1050℃、オーステナイト系については1150℃で、夫々固溶化処理を行なった。そして、各線材を酸洗、表面コーティング処理を行ってから、伸線に供して各種鋼線とした。このとき、寸法効果を確認する為に、各鋼種の最終仕上げ線径を0.9、0.4、0.08（mm）の3サイズとした。

【0037】

【表1】

供試鋼	化学成分(質量%)											備考
	C	Si	Mn	Cu	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	N	
A	0.04	3.15	2.05	0.6	0.025	0.002	7.20	17.10	0.75	0.16	—	実施例
B	0.02	4.45	2.24	2.4	0.020	0.005	8.95	19.92	1.90	0.45	—	実施例
C	0.02	3.62	2.10	1.2	0.030	0.003	9.25	21.60	1.50	0.25	—	実施例
D	0.02	3.04	2.22	2.1	0.028	0.010	6.52	16.34	0.54	0.20	0.10	実施例
E	0.01	4.12	1.95	1.9	0.020	0.008	8.60	18.20	1.90	0.35	0.20	実施例
F	0.03	2.89	2.10	—	0.030	0.004	7.50	16.90	0.80	—	—	比較例
G	0.02	4.75	2.35	—	0.025	0.003	9.50	19.20	2.05	—	—	比較例
H	0.07	0.78	1.65	—	0.030	0.005	8.60	18.90	—	—	—	SUS304
I	0.06	0.84	1.56	—	0.020	0.002	12.5	17.50	2.58	—	—	SUS316

【0038】細径ステンレス鋼線を伸線加工する場合に、加工硬化の為に鋼線が硬くなっていき、引き続いて

伸線加工を行なうのに途中で1回乃至数回の中間熱処理（固溶化処理）を行なうのが普通である。しかしなが

ら、一旦固溶化処理を行なうと、再結晶によってそれまでの加工硬化の効果が損なわれることになる。そこで、本発明では前述の如く、加工硬化の効果を保持しながら引き続き伸線加工ができる様に、中間熱処理と共に（中間熱処理を極力減らし）またはその代りにニッケルめっき、或は潤滑性皮膜コーティング処理を行なうことにしたのである。

【0039】このとき、比較の為にSUS304およびSUS316（表1の鋼種H、I）についても同様に工程を試みたが、これらの鋼種については伸線加工度は8 10 5%程度を超えると、絞りが20%程度となり、たとえ*

*ニッケルめっきや潤滑性皮膜コーティング処理を行なっても引き続き伸線するには耐えられないので、85%前後の伸線加工度を与えた後、中間固溶化処理を行なった。そして、最終仕上げ伸線工程においてニッケルめっきを施した。中間熱処理工程とニッケルめっき或は潤滑性皮膜コーティング処理の回数の関係について、各鋼種を比較して下記表2に示す。尚、下記表2に示した伸線加工度は、最終固溶化処理後のトータル伸線加工度を言う。

【0040】

【表2】

供試鋼	最終線径 (mm)	伸線加工度 (%)	中間固溶化 処理回数(回)	ニッケルめ っき回数(回)	備考
A	0.9	97.3	0	1	2相系
A	0.4	96.0	1	1	〃
A	0.08	99.8	1	2*	〃
B	0.9	97.3	0	1	〃
B	0.4	96.0	1	1	〃
B	0.08	99.8	1	2*	〃
F	0.9	83.2	1	1	〃
F	0.4	84.0	2	1	〃
F	0.08	89.8	4	1	〃
G	0.9	80.0	1	1	〃
G	0.4	82.0	2	1	〃
G	0.08	85.0	4	1	〃
H	0.9	83.2	1	1	オーステナイト系
H	0.4	84.0	2	1	〃
H	0.08	89.8	4	1	〃
I	0.9	83.2	1	1	〃
I	0.4	84.0	2	1	〃
I	0.08	89.8	4	1	〃

*: 2回のニッケルめっきか、または1回の潤滑性皮膜コーティング(シュウ酸塩皮膜)+1回のニッケルめっき

【0041】表2の結果から明らかなように、SUS304、SUS316の場合には、線径：0.9mmまで伸線する場合に、1回の固溶化処理+1回のニッケルめっき、また線径：0.4mmまで伸線する場合に、計2回の固溶化処理+1回のニッケルめっき、更に線径：0.08mmまで伸線する場合に、計4回の固溶化処理と1回のニッケルめっきを必要とした。

【0042】これに対して、本発明のステンレス鋼線（表1の鋼種A～E）では、オーステナイト/フェライ 40 トの2相が伸線加工によって層状ファイバー組織となる※

$$\text{伸線加工度} = \{ [\text{伸線前線径}(d_0) - \text{伸線後線径}(d_1)] / d_0 \} \times 100 (\%) \quad \dots (1)$$

この結果から明らかなように、95%以上の伸線加工で引張強さが上昇すると共に、捻回値も30回程度まで回復していることが分かる。

【0044】図2は、本発明のステンレス鋼線（鋼種A、B）における伸線加工に伴う絞りの変化を、従来鋼（SUS304、SUS316）と比較して示したグラフ★

$$\text{絞り} = \{ [\text{伸線前の線の断面積}(A_0) - \text{破断時の線の断面積}(A_1)] / A_0 \}$$

※ので、伸線加工が進行するにつれて層状ファイバー組織が発達し、却って強靱性となる結果が得られた。

【0043】図1は、本発明のステンレス鋼線（鋼種A、B）における伸線加工度に伴う捻回値の変化を、従来鋼（SUS304、SUS316）と比較して示したものである。尚、「伸線加工度」とは、下記(1)式によって求められる値を意味し、「捻回値」とは、線の片端を固定し、他の端を回転させたときに破断するときの回転数を意味する【但し、ゲージレングスを100d (d：線径)とする】。

★フである。尚、「絞り」とは、下記(2)式によって求められる値である。この結果から明らかなように、本発明鋼線では95%以上伸線しても30%以上の絞り値を示しているのに対し、SUS304やSUS316では85%を超える伸線を行なうと、絞りは20%程度になり、伸線限界に近づいていることが分かる。

×100 (%) … (2)

【0045】これらの結果を踏まえ、本発明のステンレス鋼線（鋼種A、B）の場合には、線径：0.9mmまで伸線加工するのに、固溶化処理を省略し、1回のニッケルめっきのみで行なった。また、線径：0.4mmまで伸線する場合には、1回の固溶化処理+1回のニッケルめっき、更に線径：0.08mmまで伸線加工する場合には、1回の固溶化処理+2回のニッケルめっき或は潤滑性皮膜コーティング処理を行なった。即ち、本発明の鋼線を製造する場合には、オーステナイト系のSUS 304やSUS 316の場合に比べて、中間固溶化処理*

*の回数を減らし若しくは無くし、加工硬化による強化効果が最大限に発揮されることになる。

【0046】下記表3は、各鋼線の室温引張特性（n=3の平均値）と捻回値（n=10の平均値）を示したものである。SUS 304やSUS 316に比べて本発明の鋼線の場合には、引張強度は勿論のこと、捻回値も高くなっていることが分かる。

【0047】

【表3】

供試鋼	最終線径 (mm)	引張強さ (MPa)	捻回値 (回)	時効後引張 強さ(MPa)	備考
A	0.9	2105	25	2480	2相系
A	0.4	2450	28	2970	"
A	0.08	2710	31	3105	"
B	0.9	2060	27	2370	"
B	0.4	2310	29	2726	"
B	0.08	2580	32	2930	"
C	0.9	2030	28	2370	"
C	0.4	2302	31	2712	"
C	0.08	2594	33	2928	"
D	0.9	2215	27	2670	"
D	0.4	2640	28	3021	"
D	0.08	2973	30	3276	"
E	0.9	2145	29	2620	"
E	0.4	2580	32	2987	"
E	0.08	2870	35	3186	"
F	0.9	1970	15	2205	"
F	0.4	2160	22	2380	"
F	0.08	2380	28	2640	"
G	0.9	2010	12	2260	"
G	0.4	2280	20	2570	"
G	0.08	2530	25	2810	"
H	0.9	1950	8	2120	オーステナイト系
H	0.4	2090	18	2210	"
H	0.08	2295	22	2420	"
I	0.9	1640	7	1805	"
I	0.4	1720	15	1890	"
I	0.08	1950	19	2110	"

【0048】ところで、ばねメーカーにおいては、ばね鋼線を用いてコイルばねに成形してから、ばねのねばり性を引き出すために、低温時効処理を行なうのが一般的である。こうした工程を想定して、各鋼線の低温時効処理後の引張強さについても調査した。本発明鋼線の場合には、時効処理による引張強さの上昇が大きいことも大きな特徴である。SUS 304やSUS 316の場合には、400℃、10分間の時効処理による引張強さの上昇が5～8%程度であるのに対して、本発明の鋼線の場合には、15%以上も上昇したことを確認できた。コイルばねは必ず低温時効処理を行なうものであるため、本発明の鋼線におけるこうした特性はコイルばねにとって明らかに有利である。

【0049】この効果をより分かり易く説明する為に、図3に示す様に、本発明の鋼線とSUS 304やSUS 316の引張強さに対する低温時効処理温度（いずれも10分の処理時間）の影響を整理した。その結果から明

らかなように、各時効処理温度において本発明鋼線の引張強さの上昇値が比較材よりも大きく、特に300℃を超えるとその差が顕著になっていることが分かる。

【0050】前記図3は、各鋼線における耐熱性の結果をも示すものである。即ち、本発明の鋼線においては、600℃までの時効処理では時効処理後の強度はいずれも室温強度よりも上昇していることが分かる。これに対して、SUS 304の場合には、600℃の時効処理では時効処理後の強度は室温強度よりも約9%も低下したのとなっており、その上昇率が本発明の鋼線と比べて低くなっていることが分かる。また、SUS 316の場合にて、600℃までの時効処理では、時効後の強度は室温強度よりも上昇しているが、その上昇率は本発明の鋼線と比べて小さいものである。即ち、本発明の鋼線の耐熱性は従来のオーステナイト鋼線（SUS 304やSUS 316）の耐熱性に比べて優れたものとなっていることが分かる。

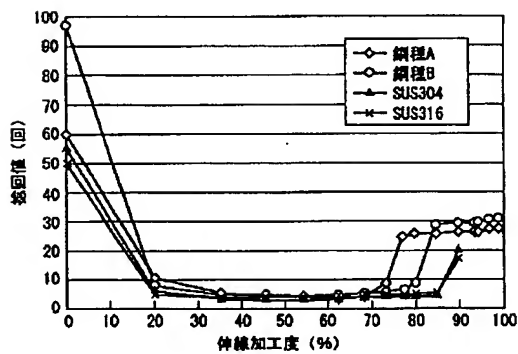
【0051】下記表4は、各鋼線を海水中に浸漬して腐食させたときの腐食減量を比較して示したものであるが、本発明の鋼線はSUS316以上の耐食性を有していることが分かる。

【0052】

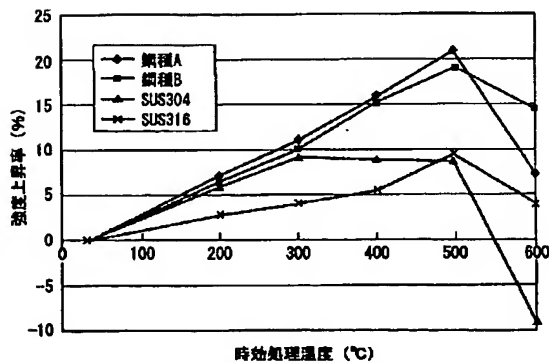
【表4】

供試鋼	試験時間 (日)	腐食減量 (g/日)
A	1000	0.06
B	1000	0.03
C	1000	0.02
D	1000	0.05
E	1000	0.01
F	1000	0.12
G	1000	0.08
H	1000	0.17
I	1000	0.07

【図1】



【図3】



*【0053】

【発明の効果】本発明は以上の様に構成されており、耐食性と耐熱性に優れた高強度・高靱性ばね用ステンレス鋼線が実現できた。

【図面の簡単な説明】

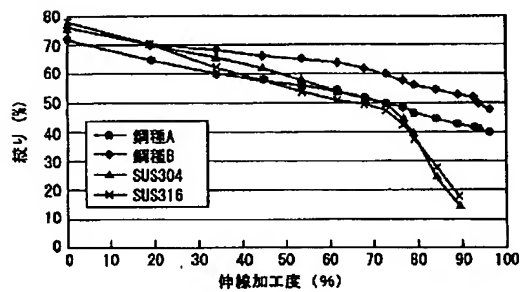
【図1】伸線加工度に伴う伸び値の変化を示したグラフである。

【図2】伸線加工度に伴う絞りの変化を示したグラフである。

10 【図3】引張強度に対する時効熱処理温度の影響を示したグラフである。

*

【図2】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)